

**VŠB – Technická Univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

**Návrh a realizace zařízení pro bodové elektrické svařování**  
**Design and Realization of Spot Welding Device**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jan Olčák**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R003 Aplikovaná elektronika

Téma:

Návrh a realizace zařízení pro bodové elektrické svařování  
Design and Realization of Spot Welding Device

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te teoretický rozbor:
  - svařování, zvláště bodového, princip a způsoby realizace
  - výkonových elektrických zdrojů
  - zdrojů pro svařování
2. V rámci praktické části proveďte:
  - návrh zdroje
  - návrh mechanické konstrukce
  - realizaci zařízení

Seznam doporučené odborné literatury:

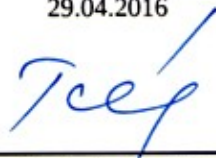
Faktor Zdeněk, Transformátory a cívky, BEN 2002.  
Kruml Vincenc, Transformátory pro obloukové svařování, SNTL 1985.  
Plíva Ladislav, odporové svařování, SNTL 1975


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kolář, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry


  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 27.4.2016

  
.....  
Podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Kolářovi za jeho užitečné rady, podnětné náměty a odbornou pomoc při návrhu a realizaci této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za psychickou a morální podporu po celou délku mého studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá kompletním návrhem a realizací zařízení pro bodové svařování. V práci je navržen řídicí obvod zařízení s nastavitelnou délkou svařovacího cyklu a vizuální signalizací pro obsluhu. Celé zařízení je řešeno analogově, bez použití mikrokontroléru.

Součástí práce je i rozdělení typů svařování které je doplněno o blokové funkční schémata. Podrobněji se práce věnuje zejména svařování odporovému.

## **Klíčová slova**

Svařování, bodové svařování, svařovací transformátor, časovací obvod, SSR relé

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the complete design and realization of the spot welding device. There is designed a control circuit of the device with adjustable length of welding cycle and visual signalisation for the operator. The entire device is analog based, without use of microcontroller.

The thesis also includes a classification of types of welding, as well as function block diagrams, more closely dedicated to resistance spot welding.

## **Key word**

Welding, spot welding, welding transformer, timer circuit, SSR relay

**Seznam použitých zkratk**

<i>Veličina</i>	<i>Popis, vysvětlení</i>
AC	Střídavý
CDW	Capacitor discharge welding
DC	Stejnoseměrný
DPS	Deska plošných spojů
EMI	Elektromagnetické rušení
IGBT	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
LED	Dioda emitující světlo
LPG	Zkapalněný ropný plyn
MAG	Svařování kovů v aktivním plynu
MFDC	Midle frequency to direct current
MIG	Svařování kovů v inertním plynu
NAND	Logický člen Shefferovy funkce
PWM	Pulzní šířková modulace
SSR	Solid State Relay - Polovodičové relé
VF	Vysokofrekvenční
WIG	Svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu

**Seznam použitých symbolů a fyzikálních veličin**

<i>Veličina</i>	<i>Popis, vysvětlení</i>	<i>Jednotka</i>
$C_{KB}$	Kapacita kondenzátorové banky	[F]
$dU/dt$	Nárůst napětí	[V/s]
$F_s$	Přítlačná síla elektrod	[N]
$I$	Elektrický proud	[A]
$I_1$	Proud primárního vinutí	[A]
$I_2$	Proud sekundárního vinutí	[A]
$I_K$	Zkratový proud	[A]
$I_s$	Svařovací proud	[A]
$N_1$	Počet závitů primárního vinutí	[-]
$N_2$	Počet závitů sekundárního vinutí	[-]
$p$	Transformační poměr	[-]
$P$	Zdánlivý příkon	[VA]
$P_2$	Zdánlivý výkon	[VA]
$Q$	Velikost Jouleova tepla	[J]
$R$	Elektrický odpor	[Ω]
$R_P$	Hodnota odporu potenciometru	[Ω]
$R_R$	Hodnota předřadného odporu	[Ω]
$t_i$	Doba průchodu elektrického proudu	[s]
$t_K$	Doba kování	[s]
$t_P$	Doba přitlaku	[s]
$t_s$	Doba svařování	[s]
$T_s$	Délka svařovacího cyklu	[s]
$t_{SC}$	Celková doba procesu svařování	[s]
$t_v$	Doba vypnutí	[s]
$U_1$	Napětí primárního vinutí	[V]
$U_2$	Napětí sekundárního vinutí	[V]

$U_{\text{EF}}$	Efektivní napětí	[V]
$U_{\text{KB}}$	Napětí kondenzátorové banky	[V]
$U_{\text{PRIM}}$	Napětí primárního vinutí	[V]
$U_{\text{SEK}}$	Napětí sekundárního vinutí	[V]
$U_{\text{SS}}$	Stejnoseměrné napětí	[V]
$W_{\text{KB}}$	Energie kondenzátorové banky	[J]
$\Phi$	Celkový magnetický tok	[Wb]
$\Phi_{\text{b}}$	Magnetický tok bočníku	[Wb]
$\Phi_{\text{s}}$	Magnetický tok sekundárního vinutí	[Wb]

## Seznam ilustrací

Obr. 1: Princip funkce svařovacího hořáku.....	12
Obr. 2: Princip funkce regulace s proměnnou indukční vazbou.....	13
Obr. 3: Princip funkce regulace s magnetickým bočníkem.....	14
Obr. 4: Blokové schéma invertorového svařovacího zdroje.....	15
Obr. 5: Blokové schéma svařovacího zdroje s tyristorovou regulací.....	15
Obr. 6: Obalená elektroda .....	16
Obr. 7: Princip výstupkového svařování .....	19
Obr. 8: Princip švového svařování.....	19
Obr. 9: Princip bodového svařování .....	20
Obr. 10: Princip stykového svařování.....	20
Obr. 11: Ukázka bodových svarů ve výbojkových lampách.....	21
Obr. 12: Blokové schéma CDW svařovacího zdroje .....	22
Obr. 13: Bateriový článek vytvořený pomocí CDW svařovacího zdroje.....	22
Obr. 14: Blokové schéma středofrekvenčního svařovacího měniče .....	22
Obr. 15: Blokové schéma DC svařovacího měniče .....	23
Obr. 16: Blokové schéma AC svařovacího měniče .....	23
Obr. 17: Rozdělení odporů ve svařovací části zdroje .....	24
Obr. 18: Simulace ohřevu materiálu v místě svaru v programu SIMULIA Aquabus.....	24
Obr. 19: Průběh veličin bodového svařovacího procesu .....	25
Obr. 20: Příklad provedení závěsné manuální svařovačky .....	26
Obr. 21: Příklad provedení automatické svařovačky .....	26
Obr. 22: 3D model osazené DPS v programu SketchUp .....	28
Obr. 23: Návrh DPS řídicího obvodu – pohled ze strany spojů .....	28
Obr. 24: Blokové schéma kompletního zařízení pro bodové svařování.....	29
Obr. 25: Schéma řídicího obvodu .....	30
Obr. 26: Simulace funkce jednotlivých částí řídicího obvodu .....	31
Obr. 27: Vnitřní zapojení SSR relé.....	32
Obr. 28: Fotografie svařovacího transformátoru .....	32
Obr. 29: Fotografie desky řídicího obvodu .....	33
Obr. 30: Fotografie detailu uchycení DPS a napájecích konektorů chassis .....	34
Obr. 31: Fotografie vnitřního uspořádání.....	34
Obr. 32: Fotografie držáku svařovací elektrody s uchycenou elektrodou.....	35
Obr. 33: Fotografie kompletního zařízení bez krytu.....	35
Obr. 34: Funkce signalizační LED diody.....	36



## Obsah

Úvod .....	11
1. Přehled metod svařování.....	12
1.1. Metody tavného svařování .....	12
1.1.1. Svařování plamenem .....	12
1.1.2. Svařování elektrickým obloukem.....	13
1.1.2.1 Svařovací zdroje .....	13
1.1.2.2 Aplikace a přednosti obloukového svařování .....	15
1.1.3 Ostatní metody tavného svařování .....	16
1.2. Metody tlakového svařování .....	17
1.2.1. Svařování tlakem za studena.....	17
1.2.2. Svařování ultrazvukem.....	17
1.3. Metody svařování působením tepla a tlaku.....	18
1.3.1. Svařování třením.....	18
1.3.2. Indukční svařování .....	18
1.3.3. Svařování elektrickým odporem .....	18
1.3.3.1 Výstupkové svařování.....	19
1.3.3.2 Švové svařování .....	19
1.3.3.3 Bodové svařování .....	20
1.3.3.4 Stykové svařování .....	20
2. Bodové svařování.....	21
2.1. Rozdělení a přednosti svařovacích zdrojů.....	21
2.1.1. CDW (Capacitor Discharge Welding).....	21
2.1.2. MFDC (Středofrekvenční měnič).....	22
2.1.3. DC svařovací zdroj.....	23
2.1.4. AC svařovací zdroj.....	23
2.2. Vygenerované teplo a tvorba svaru .....	24
2.3. Svařovací proces.....	25
2.4. Provedení bodových svařovaček .....	26
3. Návrh a popis svařovacího zařízení.....	27
3.1. Volba typu svařovacího zdroje a jednotlivých částí .....	27
3.1.1. Typ regulace .....	27
3.1.2. Svařovací transformátor .....	27
3.1.3. Spínací prvek .....	27

---

3.1.4.	Řídicí obvod.....	28
3.2.	Popis kompletního svařovacího zdroje .....	29
3.2.1.	Popis řídicího obvodu.....	30
3.2.1.1	Zdrojová část.....	30
3.2.1.2	Zpožďovací obvod.....	30
3.2.1.3	Tvarovací obvod.....	30
3.2.1.4	Časovací obvod .....	31
3.2.1.5	Spínací obvod.....	31
3.2.1.6	Signalizační obvod .....	31
3.2.2.	Popis spínacího prvku.....	32
3.2.3.	Popis svařovacího transformátoru .....	32
4.	Konstrukce a obsluha zařízení .....	33
4.1.	Konstrukce desky řídicího obvodu .....	33
4.2.	Konstrukce chassis a mechanickýchprvků zařízení .....	34
4.2.1.	Konstrukce chassis .....	34
4.2.2.	Konstrukce mechanických prvků .....	35
4.2.2.1	Svařovací elektrody a držáky elektrod.....	35
4.2.2.2	Základna a ramena.....	35
4.3.	Obsluha zařízení .....	36
Závěr	.....	37
Seznam použité literatury.....		38

## Úvod

Cílem této práce je kompletní návrh a realizace bodové svařovačky, která nachází uplatnění především při spojování plechů, vodičů apod. Řídicí obvod svařovačky umožňuje možnost volby délky svařování. Zajišťuje rovněž vizuální signalizaci pro obsluhu pomocí LED diody.

Práce je rozdělena na několik částí. První z nich se zaměřuje na detailní rozdělení typů svařování a má za úkol seznámit podrobněji s problematikou svařování. Následuje kapitola věnována odporovému svařování, doplněná o funkční bloková schémata.

Následující kapitola se věnuje návrhu jednotlivých částí bodové svařovačky a jejich detailnějšímu popisu, včetně popisu funkcí jednotlivých částí řídicího obvodu.

Poslední kapitola je věnována realizaci celého zařízení a samotné konstrukci. V kapitole je zahrnut i popis obsluhy celého zařízení.

## 1. Přehled metod svařování

Svařováním kovů a jejich slitin je definováno jako nerozebíratelná spojení s využitím tepelné, mechanické nebo radiační energie. Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na tři velké skupiny. A to metody tavného svařování, metody tlakového svařování a metody tavného svařování za působení tlaku. U tavného svařování je vytvoření spoje dosaženo přívodem tepelné energie do oblasti svaru. Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie, která přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. Třetí metoda využívá obou předchozích principů, kdy dojde k natavení spojovaného materiálu a jeho spojení působením tlaku. Všechny tři typy svařování mají rozsáhlé a velmi různorodé uplatnění v průmyslové výrobě, které spočívá zejména v možnosti snadné, levné a rychlé výroby jednoduchých i složitějších strojních, stavebních a jiných konstrukcí spojováním dílů jednodušších tvarů, než jakou by bylo možné dosáhnout například nýtováním, litím nebo kováním. [1]; [2]

### 1.1. Metody tavného svařování

Při použití metod tavného svařování se docílí výsledného svaru roztavením materiálu stykových ploch spojovaných částí a přidáním přídavného materiálu s podobným chemickým složením jako svařovaný materiál. [3]

#### 1.1.1. Svařování plamenem

Zdrojem tepla potřebného k vytvoření svaru je svařovací plamen, který vzniká hořením směsi vhodného plynného paliva s kyslíkem ( $O_2$ ) ve svařovacím hořáku. Mezi nejdůležitější a nejpoužívanější hořlavé plyny používané pro svařování plamenem patří:

- Acetylén ( $C_2H_2$ ) s teplotou plamene  $3200^\circ C$ .
- LPG ( $C_3H_8 + C_4H_{10}$ ) s teplotou plamene  $2800^\circ C$ .
- Metan ( $CH_4$ ) s teplotou plamene  $2700^\circ C$ .
- Vodík ( $H_2$ ) s teplotou plamene  $2500^\circ C$ .

Velká výhoda této metody spočívá v univerzálnosti, kompaktnosti a nezávislosti na zdroji elektrické energie, jelikož celé zařízení se skládá pouze z barevně označených tlakových lahví na kyslík a hořlavý plyn, lahvových a redukčních ventilů, tlakových hadic a svařovacího hořáku. [1]



Obr. 1: Princip funkce svařovacího hořáku [1]

### 1.1.2. Svařování elektrickým obloukem

Svařování elektrickým obloukem patří v dnešní době k jedné z nejrozšířenějších metod svařování, při níž je teplo potřebné k vytvoření svaru vytvořeno hořením nízkonapětového elektrického oblouku. [3]; [4]

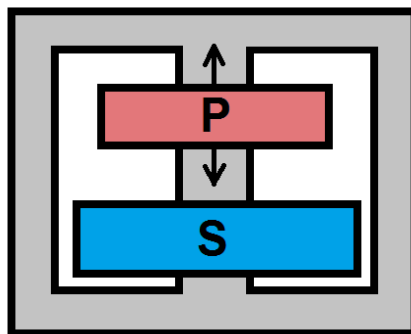
Velikost svařovacího proudu se v závislosti na typu svařovacího zdroje a tloušťce a typu svařovaného materiálu pohybuje již od řádů jednotek, až po několik stovek A. Pro tyto účely se využívá různých napájecích zdrojů, které jsou tvořeny měniči. Mezi nejpoužívanější typy měničů patří transformátory, usměrňovače, střídače (invertory), popř. motorem poháněná dynama. V praxi nachází využití jak střídavý, tak i stejnosměrný proud obou polarit, přičemž každý má své výhody i nevýhody a specifické využití. Ve všech případech je velikost svařovacího proudu ovlivněna tloušťkou svařovaného materiálu, metodou svařování a typem použitých svařovacích elektrod. [7]

#### 1.1.2.1. Zdroje svařovacího proudu

Regulace výkonu u svařování elektrickým obloukem je dosaženo konstrukcí svařovacího zdroje. Mezi základní typy regulovatelných svařovacích zdrojů patří:

- **S proměnnou indukční vazbou.**

Změnou vzdálenosti mezi primárním a sekundárním vinutím svařovacího transformátoru dochází ke změně účinnosti a tedy i výkonu, čehož se využívá jako jednoduché regulace. Princip funkce regulace s proměnnou indukční vazbou je popsán na obr. 2. Při posunu primárního vinutí směrem k sekundárnímu se zvyšuje indukční vazba obou vinutí a dochází k nárůstu výkonu. Mezi výhody patří levnost a jednoduchost provedení. Mezi nevýhody rozměry a váha celého zařízení.



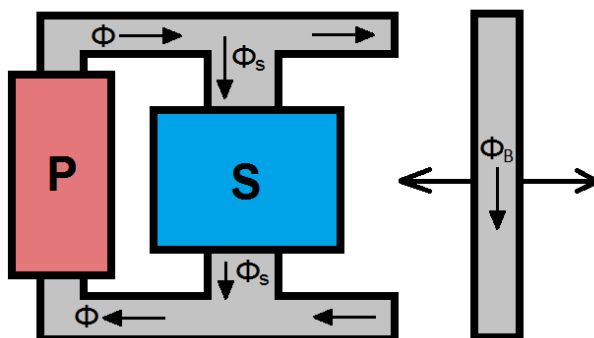
Obr. 2: Princip funkce regulace s proměnnou indukční vazbou

- **S magnetickým bočником.**

Jádro svařovacího transformátoru je tvořeno pohyblivou částí, která slouží jako magnetický bočník. Přiblížením magnetického bočníku jím začne část magnetického toku  $\Phi$  procházet, čímž dojde ke snížení výkonu transformátoru. Celkový magnetický tok  $\Phi$  je pak součtem magnetického toku sekundárního vinutí  $\Phi_s$  a magnetického toku bočníku  $\Phi_b$ .

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_b \quad (1)$$

Princip regulace je popsán na obr. 3. Magnetický bočník může být tvořen i tlumivkou připojenou do obvodu sekundárního vinutí, jejíž indukance je měněna pohyblivou částí jádra, čímž dochází k regulaci svařovacího proudu. K výhodám opět patří cenová dostupnost a jednoduchost, k nevýhodám pak rozměry a váha takto provedeného svařovacího zdroje.



Obr. 3: Princip funkce regulace s magnetickým bočníkem

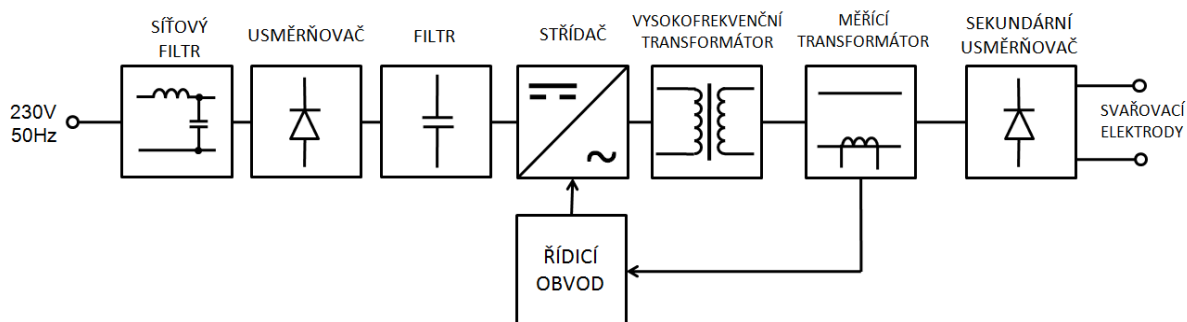
- **S využitím transduktoru.** (Magnetický zesilovač)  
Jedná se o tlumivku, jejíž indukčnost je měněna malým stejnosměrným řídicím proudem protékajícím řídicím vinutím. Změnou tohoto proudu dochází ke změně nasycení jádra tlumivky a tím i ke změně indukčnosti.
- **S elektronickou regulací.**  
Do této skupiny spadají zdroje s tyristorovými usměrňovači a dnes hojně využívané tzv. invertory.

#### Invertor

Pod pojmem svařovací invertor se ve skutečnosti skrývá svařovací zdroj postavený na bázi spínaného zdroje. Dochází tedy nejprve k usměrnění a vyhlazení střídavého síťového napětí 230V o frekvenci 50Hz na stejnosměrné napětí dosahující hodnoty:

$$U_{SS} = U_{EF} * \sqrt{2} \quad (2)$$

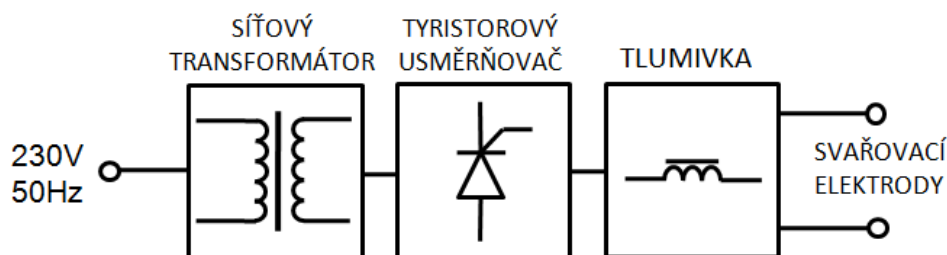
To je poté napětíovým střídačem převedeno na PWM regulaci o frekvenci několika desítek až stovek kHz. Takto modulované napětí je pomocí VF transformátoru s transformačním poměrem  $p > 1$  převedeno na nižší, bezpečnou hodnotu napětí. VF transformátor zajišťuje galvanické oddělení a díky vysoké frekvenci, pro kterou je konstruován, také podstatně menší rozměry a vyšší účinnost, než u běžných síťových transformátorů. Výstupní napětí z VF transformátoru je poté usměrněno sekundárním usměrňovačem a vyfiltrováno tlumivkou, která také zajišťuje snížení strmosti nárůstu proudu. Obvod rovněž obsahuje měřicí transformátor zajišťující zpětnou vazbu pro řídicí obvod napětíového střídače, který ovládá střidu PWM regulace pro napětíový střídač. Napětí naprázdno u těchto zdrojů se obvykle pohybuje v rozmezí 70 - 90V. Blokové schéma svařovacího invertoru je znázorněno na obr. 4.



Obr. 4: Blokové schéma invertorového svařovacího zdroje

Svařovací zdroje s tyristorovou regulací

Tyto zdroje využívají řízeného tyristorového usměrňovače, který plní dvě funkce. A to usměrňování a regulaci velikosti svařovacího proudu. Tlumivka slouží k omezení strmosti nárůstu proudu a udržování hoření oblouku v té části půlperrody kdy jsou tyristory vypnuty. Jejich výhodou je relativně jednoduchá konstrukce a nízká cena, nevýhodou je menší účinnost a větší rozměry. Napětí naprázdno se u takto konstruovaných zdrojů pohybuje v rozmezí 50-70V.



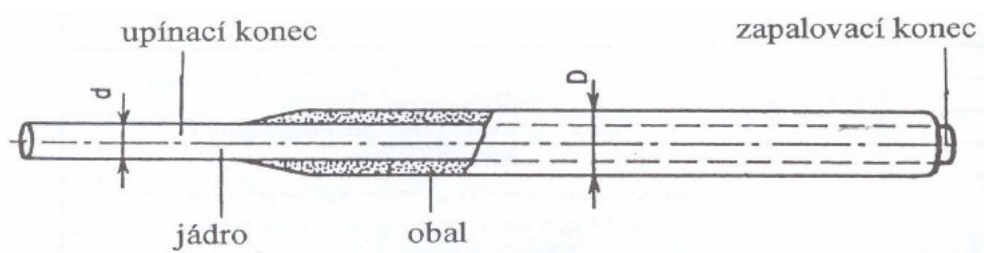
Obr. 5: Blokové schéma svařovacího zdroje s tyristorovou regulací

**1.1.2.2. Rozdělení a přednosti obloukového svařování**

Velkou výhodou této metody svařování je její jednoduchost, cenová dostupnost a všestrannost. Svařování elektrickým obloukem využívá pro různé materiály a tloušťky svařovaného materiálu několika metod:

- **Svařování ruční obalenou elektrodou.**

Při hoření oblouku mezi elektrodou a svařovaným materiálem dochází zároveň k natavení materiálu a odtavení části elektrody, která slouží jako přídavný materiál. Jádru elektrody může být tvořeno drátem různých průměrů dle typu elektrody. Obal elektrody se při svařování odpařuje ve formě plynu, který zabraňuje kontaktu s okolní atmosférou, která by způsobila špatné vlastnosti, nebo i úplné znehodnocení svaru.



Obr. 6: Obalená elektroda [1]

Mezi základní typy obalovaných elektrod patří rutilová, bazická a celulózová. Každá z uvedených obalovaných elektrod se využívá pro různé polarity svařovacího proudu a svařované materiály. [4]

- **Svařování netavící se wolframovou elektrodou v atmosféře inertního plynu (WIG)**  
Při svařování touto metodou hoří elektrický oblouk mezi svařovaným materiálem a netavící se elektrodou. Ochranu před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě, většinou argon, který je k oblouku vpouštěn tryskou umístěnou okolo wolframové elektrody. Přídavný materiál je pak dodáván ručně nebo podavačem ve formě drátu. Pro svařování většiny kovů se používá stejnosměrného proudu. Střídavý proud se využívá jen pro svařování hliníku a jeho slitin. [5]
- **Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu MIG/MAG**  
Tato metoda je založena na hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou a svařovaným materiálem v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Jedná se o velmi rozšířenou metodu svařování a to hlavně díky širokému výběru přídavných materiálů a ochranných plynů, snadné možnosti mechanizace a robotizace a dalším výhodám vyplývajícím z charakteristik použití této metody. Využívá se výhradně stejnosměrného proudu. [7]
- **Svařování elektrickým obloukem pod tavidlem**  
Metoda založená na hoření oblouku pod vrstvou sypkého tavidla za použití stejnosměrného i střídavého proudu. [7]

### 1.1.3. Ostatní metody tavného svařování

Mezi další metody tavného svařování patří např. svařování elektronovým paprskem, svařování plazmou, laserové, aluminotermické nebo slévárenské svařování.



## **1.2. Metody tlakového svařování**

K vytvoření svaru nedochází za pomoci tepla nýbrž pouze působením mechanického tlaku.

### **1.2.1. Svařování tlakem za studena**

Při svařování touto metodou dochází k vytvoření svaru pomocí vysokého tlaku. Vyvinutý tlak způsobí přiblížení spojovaných částí na úroveň působení meziatomových vazeb, čímž dojde k vytvoření spoje.

### **1.2.2. Svařování ultrazvukem**

Svařované díly jsou vystaveny působení ultrazvuku za současného působení tlaku. Ultrazvuk vytváří v materiálu mechanické vibrace, které ve spojení s působícím tlakem vytvoří spojení. Metoda je vhodná ke svařování kovových fólií a plechů o tloušťce 0,005mm až 3mm. [7]

### 1.3. Metody svařování působením tepla a tlaku

Do této skupiny spadají metody svařování, při kterých dojde k vytvoření svaru za současného působení tepla a tlaku. Zdroj tepla může být různý, od Jouleova tepla, tepla vzniklého vířivými proudy, laserového paprsku, až po teplo vzniklé třením.

#### 1.3.1. Svařování třením

Při této svařovací metodě dojde nejprve k prudkému ohřátí spojovaných částí otáčením jedné z ploch a třením o druhou. Poté dojde ke stlačení obou částí k sobě, čímž vznikne vlastní spoj.

#### 1.3.2. Indukční svařování

Metoda indukčního ohřevu spočívá v průchodu střídavého vysokofrekvenčního magnetického pole svařovaným materiálem, který lze přirovnat k sekundárnímu vinutí transformátoru o jednom závitě zapojeném nakrátko. Tím se v materiálu indukují vířivé proudy, které průchodem materiálu určité rezistivity vytvářejí Jouleovo teplo. Tato metoda se s výhodou používá pro svařování trubek a profilů.

#### 1.3.3. Svařování elektrickým odporem

Svařování elektrickým odporem využívá k vytvoření tepla potřebného ke svaření dvou částí průchodu elektrického proudu a tlakem vyvinutým stlačením svařovaného materiálu elektrodami. Díky elektrickému odporu svařovaného materiálu vznikne v bodě průtoku elektrického proudu Jouleovo teplo.

$$Q = R * I^2 * t_f \quad (3)$$

Kde  $Q$  je vzniklé Jouleovo teplo,  $R$  je suma přechodových odporů a odporů materiálu,  $I$  je procházející elektrický proud, a  $t_f$  je doba průchodu elektrického proudu.

Teplo při odporovém svařování může vzniknout dvěma režimy, které se vzájemně liší velikostí svařovacího proudu, dobou svařování a přitlačnou silou. Zároveň mají oba režimy různý vliv na deformaci svařovaného materiálu vlivem tepla a pevnost svaru.

- **Měkký režim**

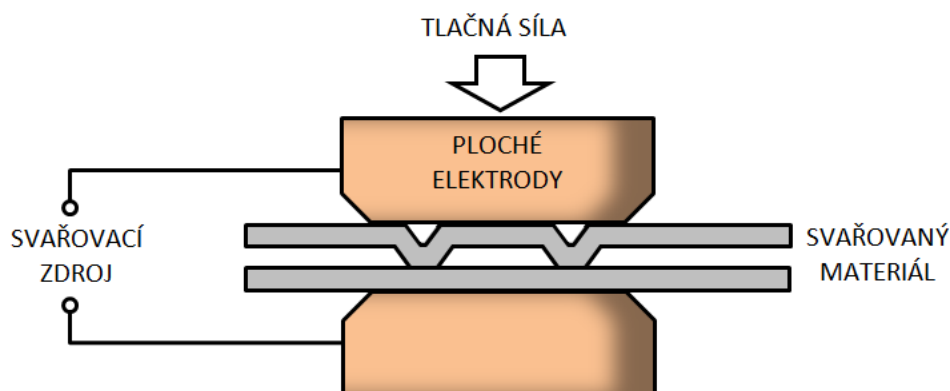
Při měkkém režimu dochází k vytvoření svaru průchodem nižšího proudu, avšak po delší dobu. To umožňuje výraznou miniaturizaci svařovacího zdroje, díky jeho výkonové nenáročnosti, menší přitlačné síle potřebné k vytvoření svaru a možností použít menší průřezy vodičů. Na druhou stranu dochází k výraznějšímu opotřebení svařovacích elektrod, které je potřeba častěji upravovat či měnit, a díky delší svařovací době dochází k poklesu produktivity práce a k větším materiálovým deformacím v oblasti svaru. Díky malým rozměrům a relativní cenové dostupnosti nachází využití především při dílenské výrobě.

- **Tvrký režim**

U tvrdého režimu je potřeba k vytvoření svaru vyšší svařovací proud a přitlačná síla ramen, avšak dochází k výraznému poklesu doby svařování, která zajišťuje vysokou produktivitu práce, větší pevnost svaru a menší materiálové deformace a opotřebení elektrod. Je však potřeba strojů s vyšších výkonů, proto má tato metoda spíše průmyslové využití. Klasický příklad použití je například svařování automobilových karosérií.

### 1.3.3.1. Výstupkové svařování (bradavkové)

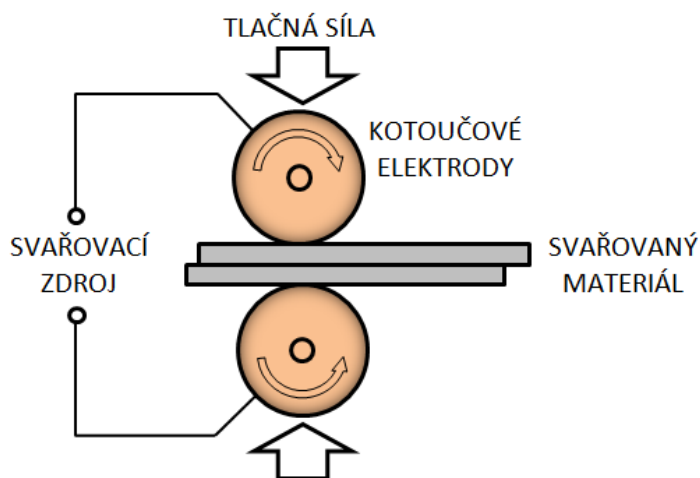
Tento typ odporového svařování vyžaduje svařovaný materiál opatřený výstupky. Ke styku svařovaných materiálů a tedy i k průchodu elektrického proudu dochází pouze v oblasti výstupků, což umožňuje vytvoření více svarů na různých místech v rámci jednoho svařovacího cyklu. Hlavními výhodami této metody jsou její rychlost a možnost automatizace. Zároveň metoda urychluje sériovou výrobu, jelikož se materiál určený ke svaření může vytvořit již s výstupky například odlitím, či při lisování.



Obr. 7: Princip výstupkového svařování

### 1.3.3.2. Švové svařování

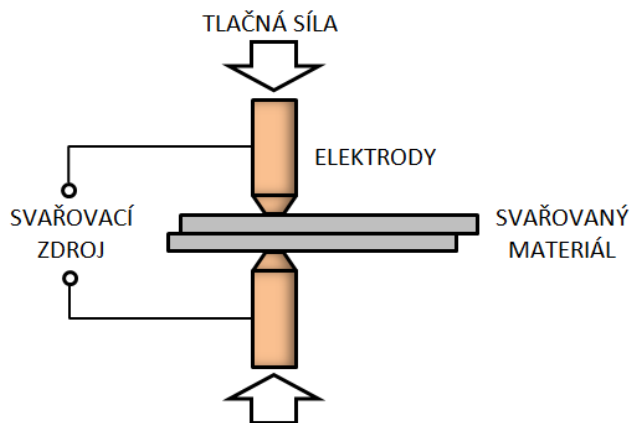
U švového svařování prochází svařovaný materiál mezi otáčejícími se kotoučovými elektrodami, kterými je zároveň i stlačován. To umožňuje stálý styk se svařovaným materiálem a vytvoření dlouhého, nepřerušovaného svaru. Elektrickým uspořádáním se švové svařovací přístroje neliší od bodových, rozdíl je pouze v uspořádání elektrod. [2] Automatizace této metody zajišťuje vysokou produktivitu. Klasickým příkladem využití této svařovací metody je například výroba radiátorů a plechových nádrží. [1]; [13]



Obr. 8: Princip švového svařování

### 1.3.3.3. Bodové svařování

U bodového svařování dojde nejprve ke stlačení svařovaného materiálu elektrodami. Elektrický proud prochází svařovaným materiálem v místě styku svařovacích elektrod, kde vznikne svar ve tvaru čochky. Pro svařování využívá proud a vysoké intenzitě (až 150kA) a nízkém napětí (do 15V). [13]

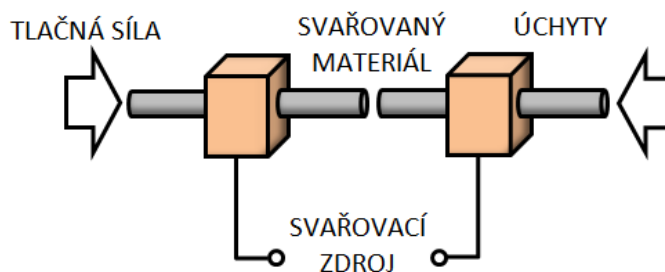


Obr. 9: Princip bodového svařování

### 1.3.3.4. Stykové svařování

Hlavním rozdílem oproti předchozím metodám je tvar svařovaného materiálu, který není plochý ve formě plechu, ale jedná se například o tyč nebo profil. Asi nejznámější použití stykového svařování je výroba řetězů. Existují dvě metody stykového svařování:

- **Odtavovací** - kdy dojde nejprve k připojení svařovacího zdroje na obě části svařovacího materiálu a jejich následnému stlačení. Část svařovaného materiálu se v místě styku obou částí vysublímuje a svaří hořením nízkonapěťového vysokoproudového oblouku.
- **Stlačovací** - nejprve dojde ke stlačení obou svařovaných částí a až poté k připojení svařovacího zdroje.



Obr. 10: Princip stykového svařování

## 2. Bodové svařování

Před samotným svařováním musí nejprve dojít k sevření materiálu elektrodami, čímž dojde k vytvoření potřebného tlaku pro vznik svaru. K zahájení samotného svařování dojde sepnutím nejčastěji nožního spínače. Elektrody mají nejčastěji válcovitý nebo hranolovitý tvar se zúžením na koncích.



Obr. 11: Ukázka bodových svarů ve výbojkových lampách

### 2.1. Rozdělení a přednosti svařovacích zdrojů

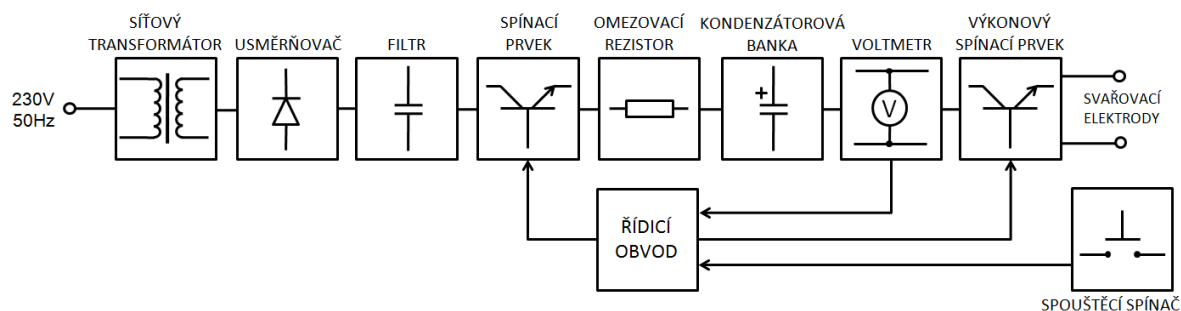
Existují čtyři základní typologie svařovacích zdrojů využívané pro svařování elektrickým odporem, které se od sebe liší jak provedením a od toho se odvíjející cenové dostupnosti, specifickým použitím a výkony jednotlivých typů. [8]

#### 2.1.1. CDW (Capacitor Discharge Welding)

Tato metoda využívá pro svařování energii uloženou v kondenzátorové bance, která dovoluje její velmi rychlé vybití. Díky schopnosti rychlého vybití nedochází ke zbytečnému ohřevu okolního materiálu, ale většina uložené energie se spotřebuje na rychlé vytvoření svaru. Malá část této energie se přemění na teplo vlivem ekvivalentního sériového odporu kondenzátorů v kondenzátorové bance. Zároveň je zařízení nezávislé na výkyvech napětí sítě, jelikož energie pro vytvoření svaru je naakumulována předem. K nabíjení kondenzátorové banky dochází přes nabíjecí rezistor, omezující nabíjecí proud, který by jinak dosahoval vysokých hodnot a způsoboval zbytečné zahřívání, nebo i zničení zařízení. Regulace výkonu u tohoto typu zdroje je dosaženo změnou napětí, kterým je nabíjena kondenzátorová banka. Uložená energie  $W_{KB}$  kondenzátorové banky pak stoupá s druhou mocninou napětí dle vztahu:

$$W_{KB} = \frac{1}{2} C_{KB} * U_{KB}^2 \quad (4)$$

Hojně se využívá při vytváření bateriových článků, kdy se jednotlivé články spojují do série pomocí kovových pásků. Zároveň je tato metoda k bateriím velmi šetrná, jelikož neodchází ke zbytečnému zahřátí baterie jako např. při pájení a takto vytvořené spoje jsou schopny vydržet i průchod vyšších proudů v řádek jednotek až desítek A. Blokové schéma CDW svářecího zařízení je na obr. 12.



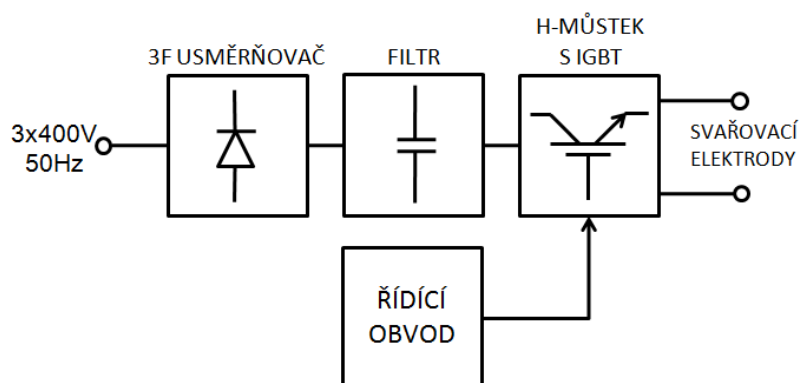
Obr. 12: Blokové schéma CDW svařovacího zařízení



Obr. 13: bateriový článek vytvořený pomocí CDW svařovacího zařízení [9]

### 2.1.2. MFDC (Středofrekvenční měnič)

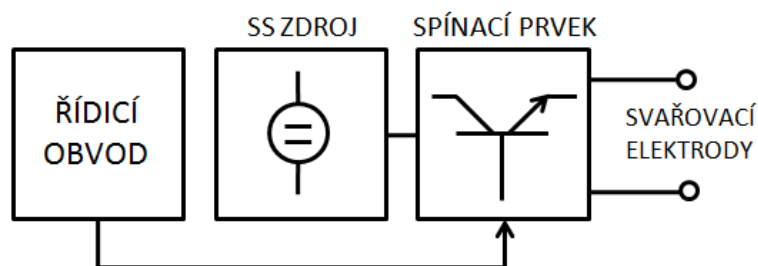
Nejprve dochází k usměrnění napájecího napětí pomocí 3f usměrňovače a jeho následné filtraci. Výkon je ovládán řídicím obvodem, který mění dobu sepnutí IGBT tranzistorů zapojených v H-můstku. Ke spínání tranzistorů dochází v rozsahu kmitočtů 0,2 – 20kHz. Výhodou je kompaktnost a relativní jednoduchost takovýchto svařovacích zdrojů s ohledem na výkony, pro které jsou konstruované.



Obr. 14: Blokové schéma středofrekvenčního svařovacího měniče

### 2.1.3. DC Svařovací zdroj

Základem tohoto odporového svařovacího zdroje je stejnosměrný zdroj, který může být tvořen jak baterií nebo síťovým transformátorem s usměrňovačem a filtry. Dále zdroj obsahuje řídicí obvod starající se o časování, a spínací prvek. Regulaci výkonu zajišťuje řídicí obvod PWM modulací spínacích pulzů. Nevýhodou tohoto typu zdroje je větší tepelné namáhání a opotřebení anodové elektrody díky Peltierově jevu. Proto jsou moderní DC svařovací zdroje navrženy tak, aby se obracela polarita svařovaného napětí po jednotlivých svarech [10]



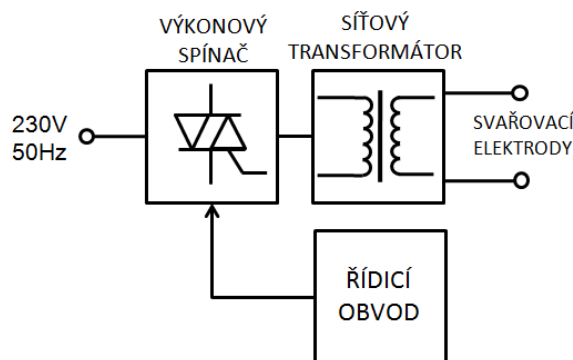
Obr. 15: Blokové schéma DC svařovacího zdroje

### 2.1.4. AC svařovací zdroj

Střídavý svařovací zdroj mezi nejpoužívanější zdroje pro bodové svařování. Základem je transformátor s transformačním poměrem  $p > 1$ . Sekundární vinutí obsahuje pouze několik málo závitů s napětím naprázdno pouze v jednotkách V, avšak zkratový proud dosahuje hodnot až několika kA. Jak vyplývá ze vztahu (3) pro vygenerované Jouleovo teplo, regulace výkonu může být trojího typu:

- **Časová** – Svařovací transformátor vždy svařuje na maximální výkon, avšak doba, po kterou svařuje, je proměnná.
- **Proudová** – Svařuje se po neměnný časový interval, avšak výkon transformátoru je možno regulovat.
- **Kombinovaná** – Je kombinací předchozích dvou

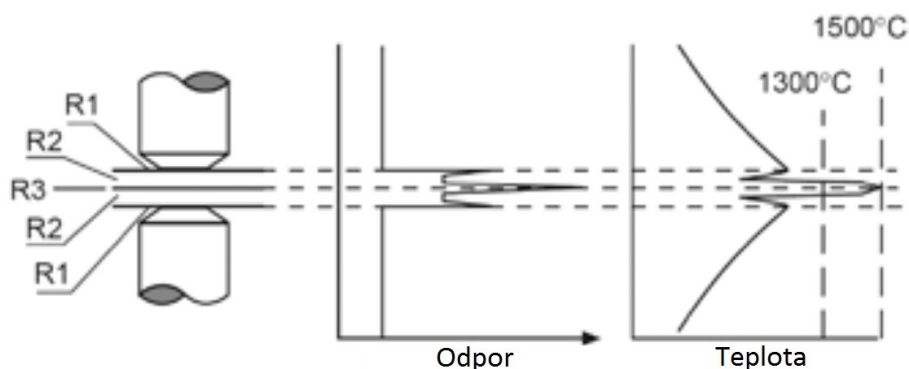
Všechny 3 typy regulace výkonu svařovacího transformátoru pro odporové svařování lze znázornit jedním blokovým schématem na obr. 16, liší se pouze provedením řídicího obvodu.



Obr. 16: Blokové schéma AC svařovacího zdroje

## 2.2. Vygenerované teplo a tvorba svaru

Teplo potřebné k vytvoření svaru u bodového svařování se odvíjí od elektrického odporu ve svařovací části zdroje dle vztahu (3). Odpor svařovacích elektrod a přívodních vodičů lze zanedbat díky jejich tloušťce a materiálu s nízkým měrným odporem, jako je měď a její slitiny, ze které jsou vyrobeny. Celkový odpor se průběhu svařování mění, a lze ho rozdělit na několik částí:



Obr. 17: Rozdělení odporu a teploty ve svařovací části zdroje [11]

- **Odpor svařovaného materiálu ( $R_2$ )**

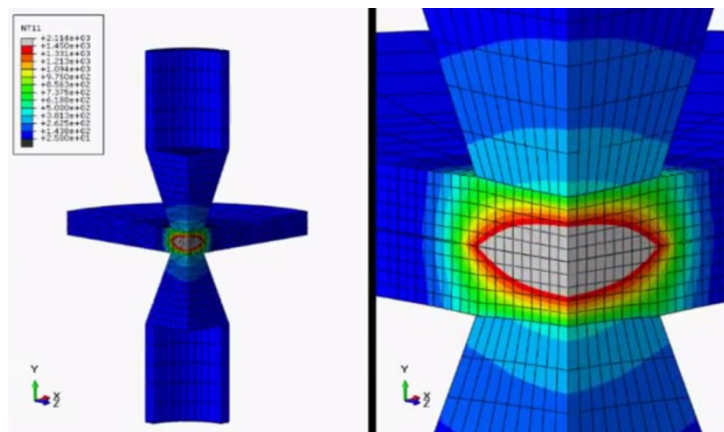
Závislý na tloušťce a fyzikálních vlastnostech svařovaného materiálu.

- **Přechodový odpor elektroda – materiál ( $R_1$ )**

Závislý na velikosti styčných ploch elektrod, míře oxidace a znečištění, drsnosti povrchů elektrod a svařovaného materiálu a v neposlední řadě také na přitlačné síle vyvinuté elektrodami. Jak je patrné z grafu na obr. 17, vzniká zde nezanedbatelná část Joulova tepla.

- **Přechodový odpor materiál – materiál ( $R_3$ )**

Největší část Jouleova tepla vznikne právě na přechodovém odporu svařovaného materiálu. V tomto místě při svařování teplota přesahuje 1500°C, což je teplota tání železa. Tím dojde ke splynutí materiálu a tvorbě svaru ve tvaru čochy. Simulace ohřevu svařovaného materiálu v programu SIMULIA Aquabus je zobrazena na obr. 18. Přechodový odpor se v průběhu svařování mění a je závislý na kvalitě styku a hrubosti povrchu materiálu, přitlačné síle, nečistotách a oxidaci.

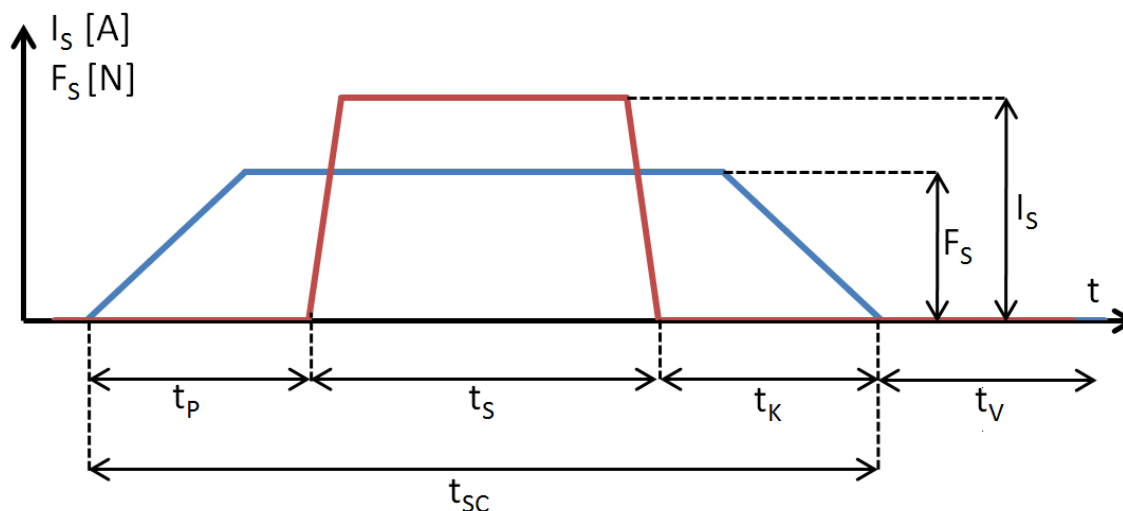


Obr. 18: Simulace ohřevu materiálu v místě svaru v programu SIMULIA Aquabus [12]



### 2.3. Svařovací proces

Svařovací proces je série několika diskrétních událostí. Příklad průběhu bodového svařovacího procesu je na obr. 19.



Obr. 19: Průběh veličin bodového svařovacího procesu

- **Doba přitlaku -  $t_p$**

V době přitlaku dojde k sevření svařovaného materiálu elektrodami a vyvinutí tlaku potřebného k vytvoření svaru. Přitlačná síla elektrod  $F_s$  způsobí přiblížení svařovaného materiálů na takovou úroveň, aby byl zajištěn dostatečný přechodový odpor pro průchod elektrického proudu. Při nedostatečném stlačení dochází k přehřívání a většímu opotřebení elektrod, a může vést až k vytvoření defektního svaru, nebo i zapálení proudového oblouku mezi elektrodami a svařovaným materiálem.

- **Doba svařování -  $t_s$**

Po vyvinutí dostatečného tlaku pomocí elektrod dojde k zahájení vlastního svařování, kdy přes svařovaný materiál prochází svařovací proud  $I_s$ , po předem nastavenou dobu. Doba svařování se liší podle tloušťky a typu svařovaného materiálu, velikosti svařovacího proudu atp. V průběhu této doby dojde v oblasti mezi elektrodami k částečnému roztavení svařovaného materiálu.

- **Doba kování -  $t_k$**

V průběhu doby kování již svařovaným materiálem neprochází svařovací proud. Elektrodami je ale stále vyvíjena přitlačná síla  $F_s$  na svařovaný materiál, dokud nedojde ke zformování svaru mezi materiálem, který má tvar čočky.

- **Celková doba svařovacího procesu -  $t_{sc}$**

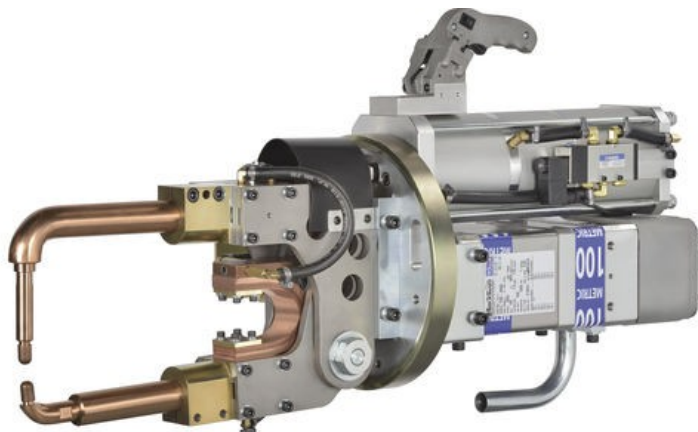
Čas potřebný k vytvoření svaru.

- **Doba vypnutí -  $t_v$**

Na svařený materiál přestává působit přitlačná síla  $F_s$ , dochází k odebrání svařeného materiálu a připravení na další opakování celého procesu.

### 2.4. Provedení bodových svařovaček

Existují dvě základní provedení bodových svářeček: manuální a automatické. Manuální jsou ovládány obsluhou, od níž se také odvíjí produktivita. Automatické svářečky mají proces svařování automatizovaný.



*Obr. 20: Příklad provedení závěsné manuální svařovačky [6]*



*Obr. 21: Příklad provedení automatické svařovačky [14]*

### 3. Návrh a popis svařovacího zařízení

#### 3.1. Návrh typu svařovacího zdroje a jednotlivých částí

Vzhledem k požadavku navrhnout a realizovat co nejjednodušší konstrukci menších výkonů bylo rozhodnuto o AC typologii svařovacího zdroje. Díky své jednoduchosti je AC svařovací zdroj možno vyrobit i z běžně dostupných elektronických i mechanických součástí.

##### 3.1.1. Typ regulace

Pro zachování jednoduchosti řídicího obvodu a celého zařízení došlo k volbě časové regulace. Při použití proudové regulace by docházelo ke spínacím ztrátám na spínacím prvku, který by vyžadoval intenzivního chlazení. U časové regulace jsou spínací ztráty téměř zanedbatelné, jelikož dochází pouze k připojení a následnému odpojení svařovacího transformátoru. Největším zdrojem ztrát je tak úbytek napětí na spínacím prvku po dobu trvání svařovacího cyklu.

##### 3.1.2. Svařovací transformátor

AC bodové svařovací zařízení pro svou činnost využívá střídavé napětí v řádu jednotek V a proud v řádu stovek až tisíců A. Z tohoto důvodu bude muset být svařovací transformátor vhodně dimenzován tak, aby splňoval tyto požadavky. Vzhledem k nákladnosti případné výroby takového transformátoru byla zvolena možnost úpravy běžně dostupného vysokonapěťového transformátoru z mikrovlnné trouby, a to nahrazením sekundárního vinutí. Budeme-li uvažovat ideální transformaci, pak můžeme transformační rovnici vyjádřit vztahem:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (5)$$

Kde  $p$  je transformační poměr,  $U_1$  a  $U_2$  jsou napětí primárního a sekundárního vinutí,  $N_1$  a  $N_2$  jsou počty závitů primárního a sekundárního vinutí a  $I_1$  a  $I_2$  jsou proudy primárního a sekundárního vinutí.

Z rovnice je patrné, že pro dosažení maximálního svařovacího proudu je potřeba počet závitů sekundárního vinutí co nejvíce snížit. Z důvodu omezeného prostoru pro sekundární vinutí nakonec došlo k vytvoření dvou závitů vodičem průměru 10mm. Po dosazení počtů závitů primárního a nově vytvořeného sekundárního vinutí do ideální transformační rovnice dostáváme transformátor s transformačním poměrem  $p \approx 126$ .

##### 3.1.3. Spínací prvek

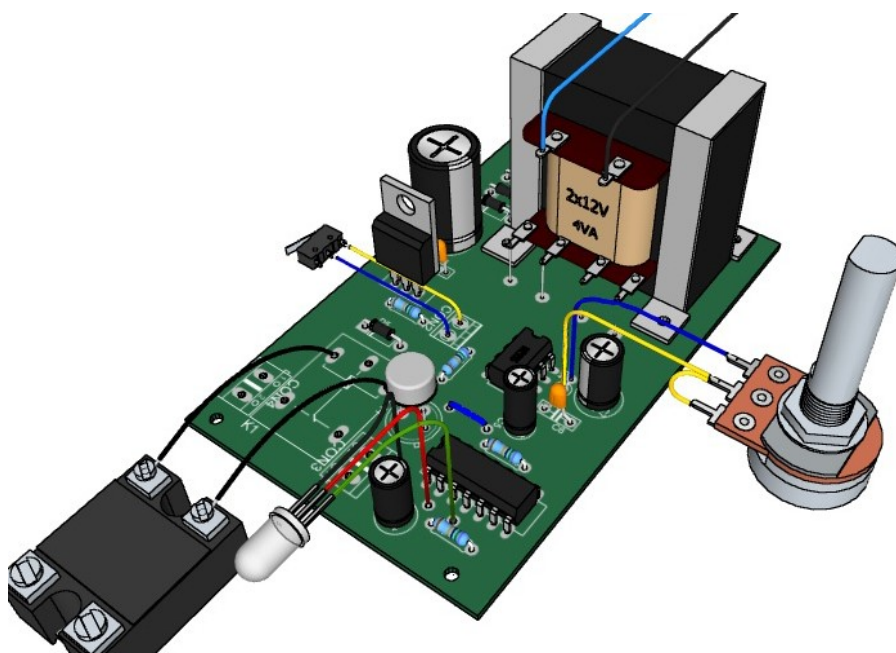
Spínací prvek bude muset být výkonově dimenzován ke spínání indukční zátěže s poměrně vysokým proudovým odběrem. Původně bylo zamýšleno použít elektromagnetické relé, čemuž je přizpůsobena i DPS. Po prvotních neúspěšných testech s použitím jazýčkového relé bylo rozhodnuto o použití SSR Relé (Solid State Relay), které svými parametry, jako jsou možnost montáže na chladič, větší spínací rychlost a především menší výkon potřebný k sepnutí a spínání v nule, předčilo relé elektromagnetické.

### 3.1.4. Řídicí obvod

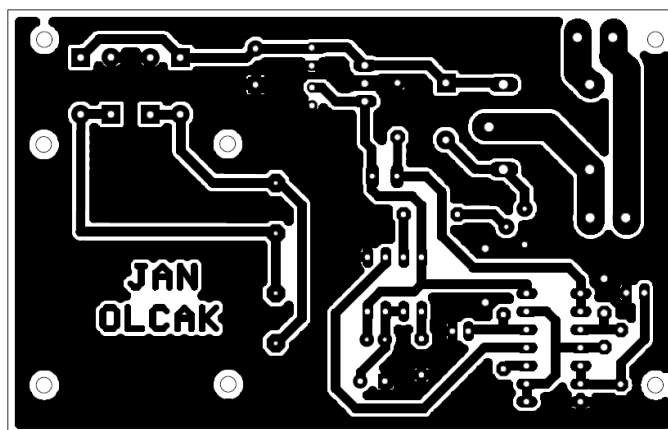
Řídicí obvod musí být schopen zajistit přesné nastavení délky svařovacího cyklu. Neměnnou dobu zpoždění a jasně rozpoznatelnou vizuální signalizaci pro obsluhu, a zároveň si udržet jednoduchost a přehlednost celého zapojení. Z těchto důvodů došlo k volbě zapojení s CMOS Schmittovy NAND logickými obvody v kombinaci s integrovaným obvodem TLC555, což je CMOS verze známého obvodu 555. Pro tyto účely byla navržena DPS v programu Eagle. Minimální a maximální možná délka svařovacího cyklu je nastavována změnou hodnoty potenciometru. Tu je možné díky předřadnému odporu volit v rozmezí 0,56 - 10,56kΩ. Vzorec pro výpočet délky svařovacího cyklu  $T_s$ :

$$T_s = 1,1 * (R_P + R_R) * C_7 \quad (6)$$

Po dosazení krajních hodnot potenciometru dostáváme možnost volby délky svařovacího cyklu v rozmezí přibližně 0,3 - 5,5s.



Obr. 22: 3D model osazené DPS v programu SketchUp



Obr. 23: Návrh DPS řídicího obvodu - pohled ze strany spojů

### 3.2. Popis kompletního svařovacího zdroje

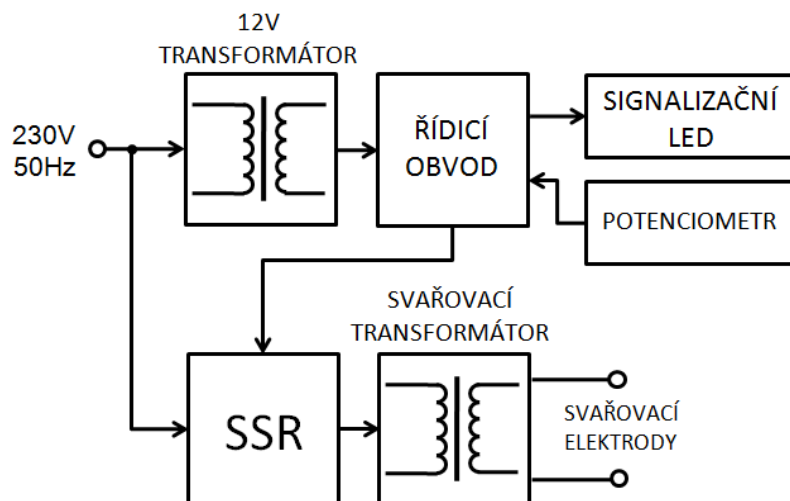
Na vstupu zdroje je střídavé napětí 230V získávané ze sítě, které je přivedeno na 12V transformátor a přes spínací svorky SSR relé také na svařovací transformátor.

12V transformátor je součástí DPS řídicího obvodu. Po následném usměrnění a vyhlazení je napětí použito jako napětí pro spínání SSR relé. Součástí DPS je i lineární napěťový regulátor LM7809, který vytváří stabilizované napětí 9V DC pro napájení řídicího obvodu, náchylného na výkyvy napájecího napětí.

SSR relé obsahuje zabudovanou signalizaci sepnutí pomocí červené LED diody a je umístěno na vlastní chladič. Ten je připevněn ke stínicímu hliníkovému profilu, který izoluje řídicí obvod a SSR relé od EMI záření, jehož zdrojem je svařovací transformátor.

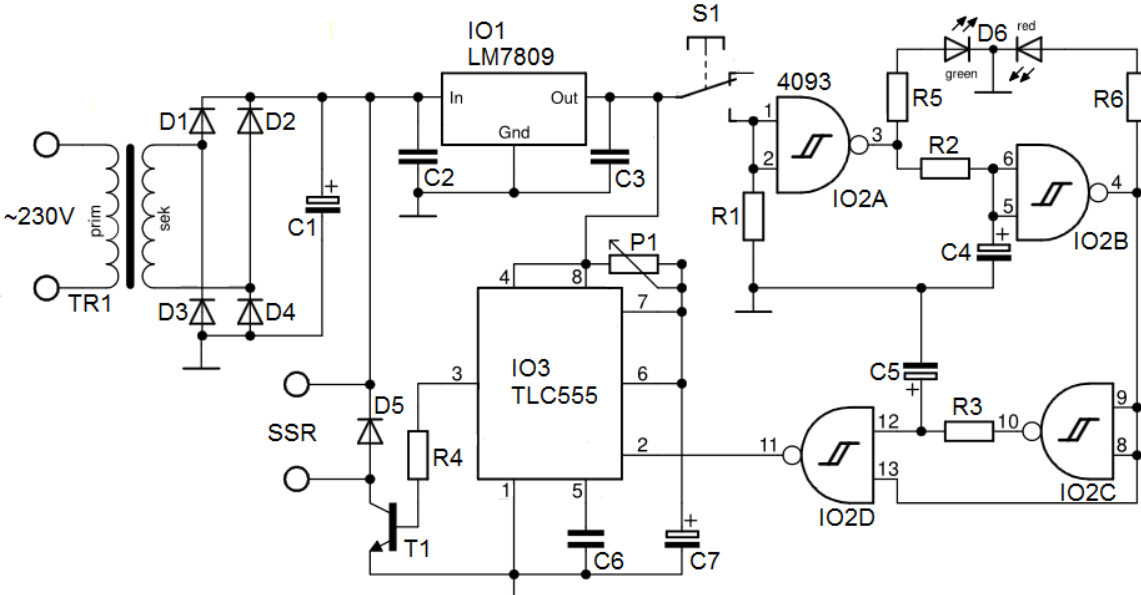
Řídicí obvod zajišťuje zpožděné připojení svařovacího transformátoru a jeho následné odpojení v závislosti na čase nastaveném obsluhou. Zajišťuje také signalizaci pomocí dvoubarevné LED diody a možnost nastavení délky svařovacího cyklu pomocí potenciometru. Zpožďovací a tvarovací část řídicího obvodu je realizována Schmittovy hradly NAND. Ty díky své hysterezi zabráňují kmitání celého obvodu.

Samotný svařovací transformátor, jenž je zdrojem svařovacího proudu, je v těsné blízkosti řídicích obvodů a je zdrojem rušivého EMI záření, které by mohlo nepříznivě ovlivňovat funkci řídicího obvodu. Z toho důvodu došlo k odstínění zbytku zařízení pomocí již zmíněného hliníkového profilu.



Obr. 24: Blokové schéma kompletního zařízení pro bodové svařování

Řídicí obvod je rozdělen na několik částí, popsaných níže.



*Obr. 25: Schéma řídicího obvodu*

### 3.2.1.1. Zdrojová část

Je tvořena transformátorem 2x12V, jenž slouží jako napájecí zdroj celého řídicího obvodu. Je však využito pouze jedno z vinutí, druhé vinutí slouží pouze jako záložní. Dále zdrojová část obsahuje můstkový usměrňovač tvořený čtyřicí diod D1-D4, které usměrní střídavé napětí na stejnosměrné a kondenzátorem C1 který napětí vyfiltruje. Následuje lineární stabilizátor LM7809, který vytváří stabilní napětí 9V pro napájení logických obvodů a časovače.

### 3.2.1.2. Zpožd'ovací obvod

Zpoždovací obvod má za úkol zpoždění signálu po sepnutí spínače S1 o dobu určenou hodnotami součástek R2 a C4, které tvoří RC článek. V době rozepnutí spínače S1 je invertor, tvořený prvním NAND hradlem, v hodnotě logické „1“. Tím dojde k nabití kondenzátoru C4. V době sepnutí spínače S1 se první hradlo NAND překlopí do hodnoty logické „0“ a dochází k vybíjení kondenzátoru C4 přes rezistor R2. Po poklesu napětí kondenzátoru C4 pod hodnotu 30% napájecího napětí, dojde k překlopení druhého hradla NAND do hodnoty logické „1“.

### 3.2.1.3. Tvarovací obvod

Funkce tvarovacího obvodu spočívá ve vytvoření spouštěcího impulsu pro integrovaný obvod TLC555, pracující v monostabilním režimu. Spouštění časovacího obvodu se provádí sestupnou hranou signálu. Tu vytváří tvarovací obvod ve chvíli, kdy dojde k překlopení druhého hradla zpozdovacího obvodu do logické hodnoty „1“. Ta je přivedena na třetí hradlo NAND zapojené jako invertor a zároveň na jeden ze vstupů čtvrtého hradla NAND. Za třetím hradlem následuje další RC člen tvořený součástkami R3 a C5. Díky tomu se na obou vstupech posledního hradla NAND objeví logická „1“, dokud nedojde k vybití kondenzátoru C5 pod 30% napájecího napětí, tedy pod 3V. Tím dojde k vytvoření sestupné hrany pro spuštění časovače.

### 3.2.1.4. Časovací obvod

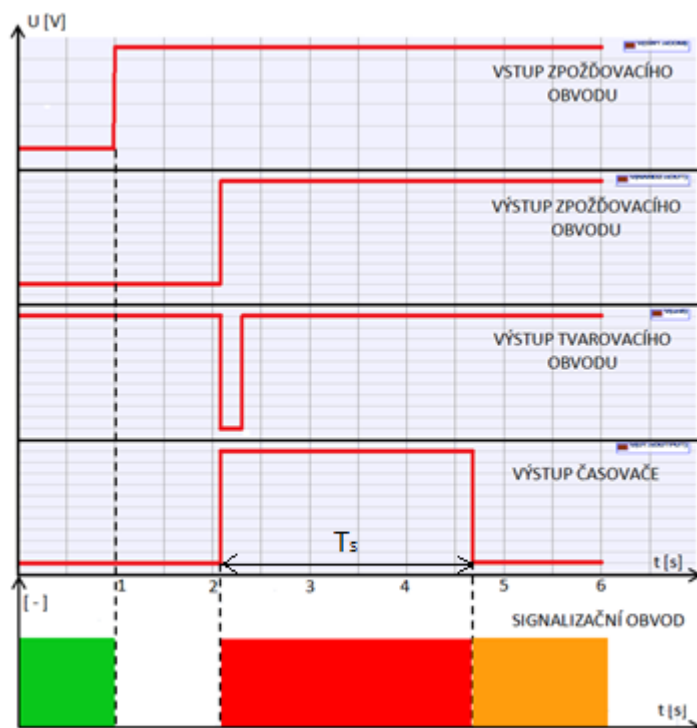
Časovací obvod je tvořen CMOS verzí známého integrovaného obvodu 555 – TLC555. Ten je zapojen jako monostabilní klopný obvod. Při zapnutí zařízení dochází přes potenciometr P1 k nabíjení kondenzátoru C7. V tu chvíli je výstup v logické úrovni „1“. Řídicím pinem 6 je měřeno napětí na kondenzátoru C7. Po překročení 2/3 napájecího napětí dojde k překlacení do logické úrovně „0“. Tím dojde k ukončení kontrolního svářecího cyklu při zapnutí zařízení. Dochází také k vybití kondenzátoru C7 přes pin 7 a přípravě na další svářecí cyklus. V průběhu časování jsou další spouštěcí impulzy ignorovány, aby nedocházelo k nechtěnému prodlužování svařovacího cyklu.

### 3.2.1.5. Spínací obvod

Spínací obvod tvoří rezistor R4 omezující proud báze tranzistoru T1. NPN tranzistor T1, který přivede spínací napětí na SSR po překlacení výstupu časovače do úrovně „1“, což má za následek sepnutí SSR relé a počátek svařovacího cyklu. A dioda D5, jenž má funkci omezování napěťových špiček způsobených indukčností cívky elektromagnetického relé, při jeho případném použití namísto SSR relé.

### 3.2.1.6. Signalizační obvod

Signalizační obvod má za úkol vizuální upozornění obsluhy na aktuální stav řídicího obvodu. Zelená signalizace značí zapnuté zařízení a připravenost řídicího obvodu na další svařovací cyklus. Po sepnutí spínače S1 dojde k pohasnutí signalizace, což značí funkci zpožďovacího obvodu. Po zahájení svařovacího cyklu dojde k rozsvícení červené signalizace, značící průběh svařovacího cyklu. Po ukončení svařovacího cyklu, kdy je spínač stále sepnut, se rozsvítí oranžová signalizace, která pohasne až po rozepnutí spínače a připravenosti řídicího obvodu na další svařovací cyklus. Signalizační obvod je tvořen rezistory R5 a R6 a dvoubarevnou signalizační LED diodou.

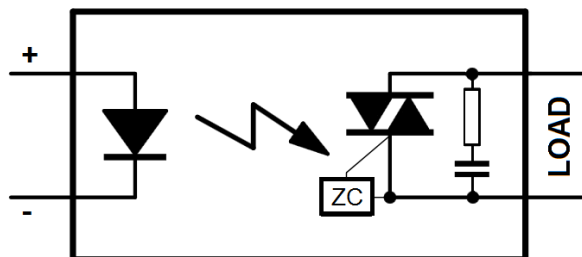


Obr. 26: Simulace funkce jednotlivých částí řídicího obvodu



### 3.2.2. Popis spínacího prvku

Jako spínacího prvku bylo použito SSR relé COSMO - KSD440AC8, které na rozdíl od elektromagnetického relé dosahuje spínací rychlosti 80ns, je schopno spínat již při řídicím napětí 4V, je schopno sepnout špičkový spínaný proud až 400A, a neobsahuje mechanické prvky u kterých by docházelo k opotřebení. K sepnutí SSR relé dojde sepnutím tranzistoru T1, který přivede ovládací napětí na řídicí svorky SSR relé. Ve své podstatě se jedná o výkonový optotriak, v tomto případě ještě doplněný o zero-cross obvod (obvod zajišťující spínání v nule), a případně uzpůsobený ke spínání indukční zátěže pomocí RC snubberu, který omezuje nárůst napětí ( $dU/dt$ ) zátěže.



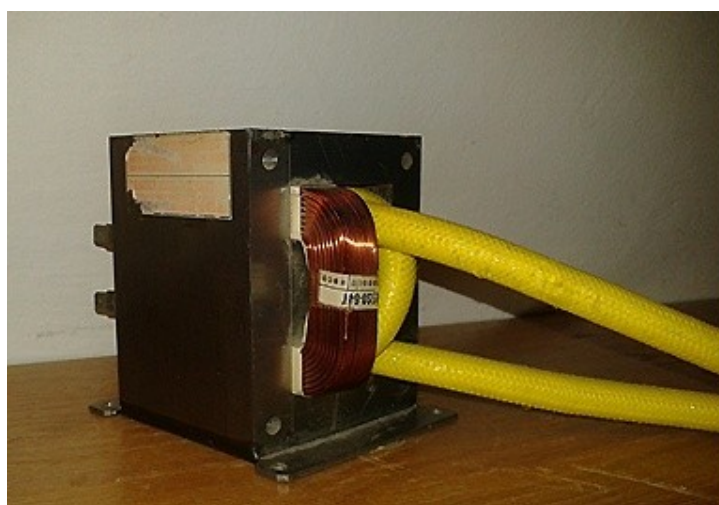
Obr. 27: Vnitřní zapojení SSR relé

### 3.2.3. Popis svařovacího transformátoru

Svařovací transformátor obsahuje původní primární vinutí. Původní sekundární vinutí bylo odstraněno a nahrazeno dvěma závitů SiF-GL kabelem průměru 10mm. Jedná se o kabel s laněným Cu pocínovaným jádrem se silikovou izolací s kombinací skelných vláken, u kterého došlo k nalisování kabelových ok. Takto upravený transformátor dosahuje parametrů:

Parametr	Hodnota	Jednotka
$U_{\text{PRIM}}$	230	V
$U_{\text{SEK}}$	1,79	V
$I_K$	740	A
$P$	2100	VA
$P_2$	1130	VA

Tab. 1: Tabulka s parametry svařovacího transformátoru



Obr. 28: Fotografie svařovacího transformátoru



## 4. Konstrukce a obsluha zařízení

### 4.1. Konstrukce desky řídicího obvodu

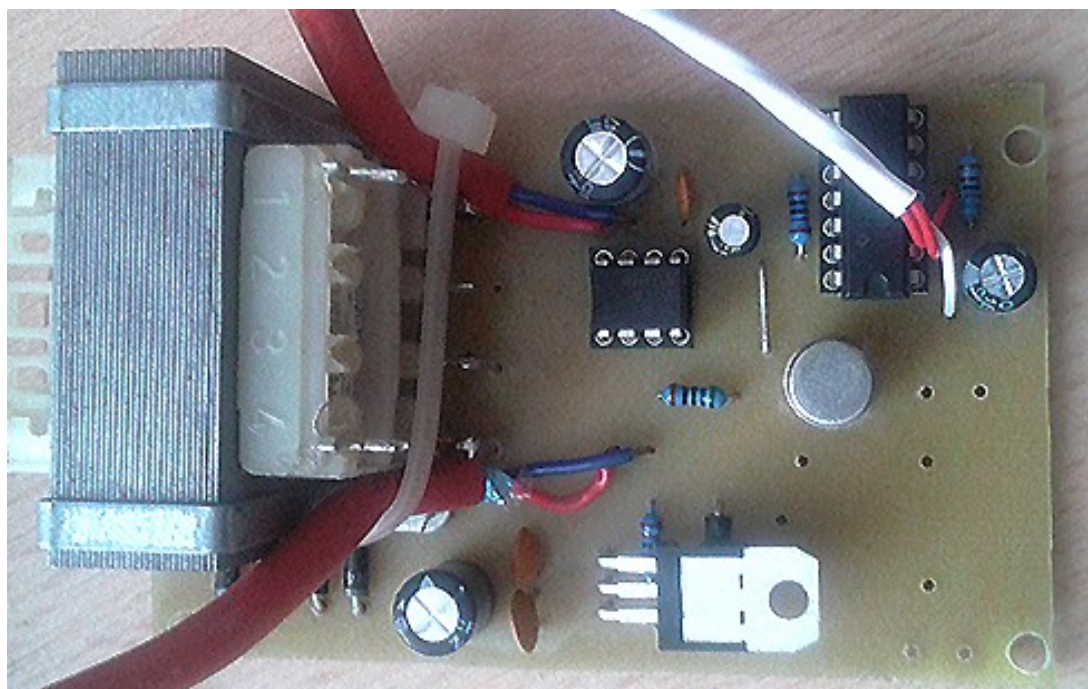
Na DPS řídicího obvodu je umístěn napájecí transformátor, který je přichycen k desce čtyřmi šrouby. Obsahuje dvě sekundární vinutí 12V, z nichž každé je schopno dodat maximální výkon 2VA. Pro napájení řídicího obvodu je využito však pouze jedno sekundární vinutí a druhé slouží jako záložní.

Z desky jsou vyvedeny 3 kabely, z nichž dva jsou požární stíněné kabely typu J-Y(St)Y 1x2x0,8mm (červený), které mají vysokou tepelnou odolnost a jsou použity pro vyvedení potenciometru k ovládacímu panelu a spínače ke svařovacím ramenům. Tohoto typu kabelu bylo použito kvůli kontaktním vzdálenostem se svařovacím transformátorem, jenž může být po delším používání vydatným zdrojem tepla. Poslední kabel je datový typu LiYY 3x0,75mm (bílý), kterým je vyvedena signalizační dvoubarevná LED dioda k ovládacímu panelu.

Vývody lineárního stabilizátoru 7809 byly ohnuty, aby došlo k uvolnění místa pro SSR relé, které je nainstalováno v těsné blízkosti řídicího obvodu. Díky zanedbatelné výkonové ztrátě není nutno stabilizátor opatřit chladičem.

Pro instalaci integrovaných obvodů bylo použito precizních patic, které zajišťují případnou snadnou a rychlou výměnu.

NPN tranzistor pro spínání řídicího napětí SSR relé byl použit Tesla KFY46, který je díky svému celokovovému pouzdru K 505/ P 203 vodivě spojenému s kolektorem tranzistoru méně náchylný k elektromagnetickému rušení.

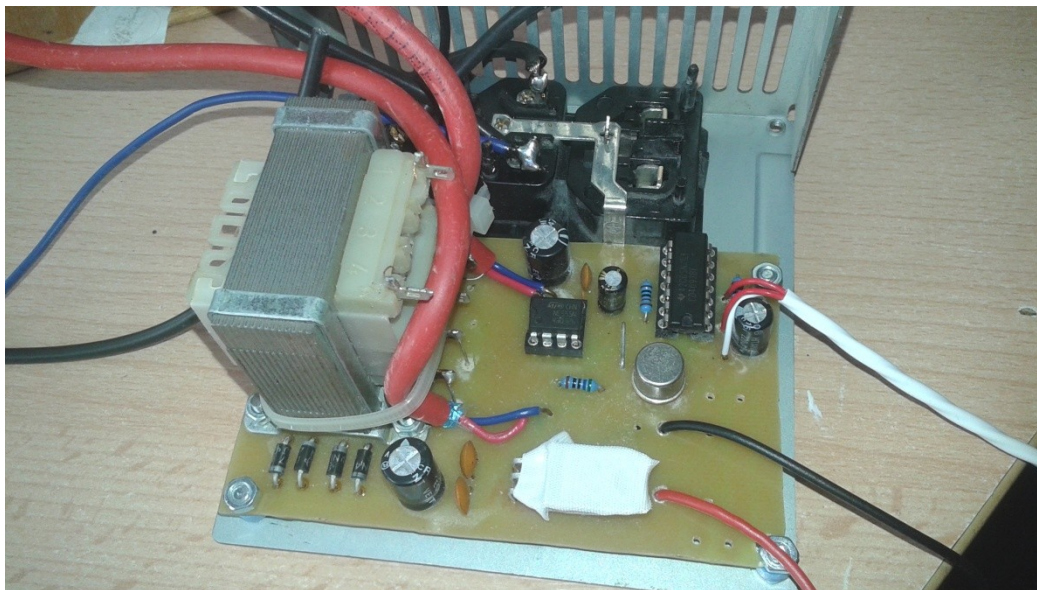


Obr. 29: Fotografie desky řídicího obvodu

## 4.2. Konstrukce chassis a mechanických prvků zařízení

### 4.2.1. Konstrukce chassis

Základem celého zařízení se stala plechová krabice původně využitá jako ATX počítačový zdroj. Z ní byly zachovány napájecí konektory a kolébkový vypínač použitý pro zapínání zařízení. Došlo také k odstranění části víka, které sloužilo jako úchyt pro ventilátor a jeho nahrazení plátem nerezové oceli. Veškerá elektronika včetně svařovacího transformátoru jsou umístěny uvnitř chassis. Jedinou výjimku tvoří spínač S1, který je umístěn v blízkosti svařovacích ramen.



Obr. 30: Fotografie detailu uchycení DPS a napájecích konektorů chassis



Obr. 31: Fotografie vnitřního uspořádání



### 4.2.2. Konstrukce mechanických prvků

Mechanické prvky zařízení byly vyrobeny z běžně dostupných materiálů.

#### 4.2.2.1. Svařovací elektrody a držáky elektrod

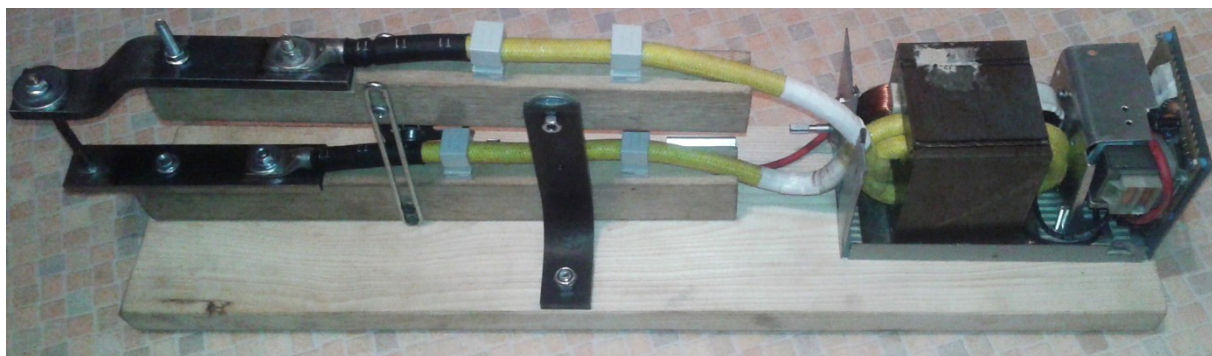
Jako držáků elektrod byly použity ocelové profily, u nichž došlo k vytvoření závitů, které slouží pro uchycení přívodního kabelu, svařovacích elektrod a přichycení k ramenům. Svařovací elektrody byly vytvořeny z měděné tyče o průměru 6mm pomocí závitníku.



Obr. 32: Fotografie držáku svařovací elektrody s uchycenou elektrodou

#### 4.2.2.2. Základna a ramena

Základna celého zařízení a svařovací ramena byly vytvořeny z dřeva. Jako kloub pro pohyb jednoho z ramen slouží ocelový profil se závitů přichycený k základně zařízení. K uchycení kabelu k ramenům došlo pomocí OBO kabelových úchytek.



Obr. 33: Fotografie kompletního zařízení bez krytu

### 4.3. Obsluha zařízení

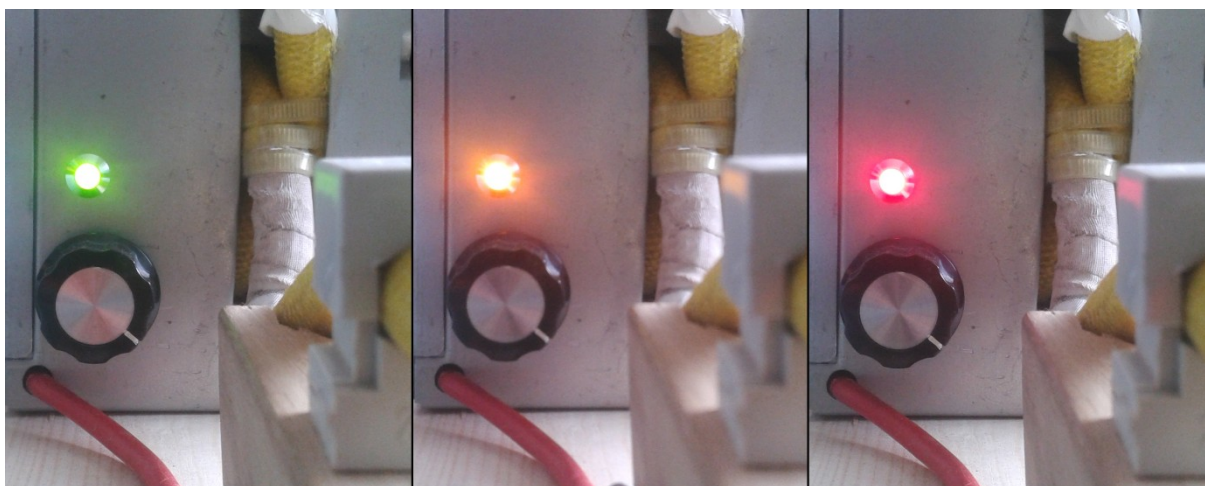
Ještě před zapnutím zařízení má obsluha možnost nastavit polohu spínače podle a míry opotřebení svařovacích elektrod.

Po zapnutí zařízení pomocí přepínače na zadní straně zařízení dojde k testu celého zařízení pomocí prvotního svařovacího cyklu, proto je nutné aby se při zapnutí zařízení svařovací elektrody nedotýkaly. Po skončení testovacího cyklu se zařízení uvede do klidu a rozsvítí se zelená signalizační dioda. Ta signalizuje připravenost zařízení na další svařovací cyklus. V tuto chvíli má obsluha možnost volby délky svařovacího cyklu pomocí potenciometru na předním panelu zařízení. Tu je možno zvolit v rozmezí 0,3s – 5,5s.

Po sevření elektrod a sepnutí spínače dojde ke zhasnutí zelené signalizační diody, což signalizuje funkci zpožďovacího obvodu. Po tuto dobu má obsluha čas na vyvinutí dostatečné síly na svařovací rameno, která je důležitá pro vznik kvalitního svaru.

Po zahájení svařovacího cyklu se rozsvítí červená signalizační dioda, která pokračuje ve svícení i po ukončení svařovacího cyklu, až do doby uvolnění spínače.

Uvolněním spínače se rozsvítí oranžová signalizační dioda, která signalizuje resetování zpožďovacího obvodu. Po dokončení resetu se opět rozsvítí zelená signalizační dioda, která značí připravenost zařízení na další svařovací cyklus.



*Obr. 34: Funkce signalizační LED diody*

## 5. Závěr

Cílem teoretické části práce bylo podrobnější seznámení s problematikou svařování a se základními metodami svařování kovů. Podrobnější část práce je věnována svařování odporovému, u kterého jsou detailně popsány funkce jednotlivých typů doplněné o funkční bloková schémata.

Praktická část práce se zabývá návrhem a realizací zařízení pro bodové svařování. V rámci práce se podařilo navrhnout svařovací zdroj s velikostí svařovacího proudu přibližně 740A při napětí naprázdno 1,79V. Regulace délky svařovacího cyklu je řešena časovačem pomocí obvodu 555 zapojeného jako monostabilní klopný obvod. Délku svařovacího cyklu je možné volit v rozsahu 0,3s - 5,5s pomocí potenciometru na přední straně zařízení. Pro absenci nožního spínače byl řídicí obvod vybaven zpožďovacím obvodem a spínačem. Aktuální stav a připravenost zařízení je signalizována pomocí dvoubarevné LED diody.

I přesto, že je zařízení schopné svařovat tenké plechy, pro svařování plechů větší tloušťky není dostatečně výkonné. To je zapříčiněno malým výkonem použitého transformátoru a také jeho poměrně nízkou účinností. Také dochází k nadměrnému zahřívání držáků elektrod díky velkému měrnému odporu oceli, ze které jsou vyrobeny.

Zařízení by se dalo vylepšit výměnou ocelových držáků elektrod za měděné, popřípadě náhradou za jiný systém uchycení. Doplnění o vhodné madlo pro pohodlnější manipulaci se svařovacím ramenem. Další významnou změnou by byla výměna stávajícího transformátoru za výkonnější. Tato možnost je však velmi limitována vnitřními rozměry použité chassis. Vhodné by rovněž bylo doplnit zařízení o panelové měřicí přístroje pro měření svařovacího proudu a napětí a o teplotní ochranu zařízení, popřípadě aktivní chlazení transformátoru.

---

## Seznam použité literatury

- [1] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K, ÚST, odbor svařování a PÚ* [online]. 2010 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/technologie\\_svarovani\\_\\_5te\\_etv\\_etv-k\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k_kubicek.pdf)
- [2] PRUDKÝ, Jan et al. *Teorie a metodika svařování*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1986.
- [3] MIČKAL, Karel. *Strojnictví: Části strojů*. Praha: SOBOTÁLES, 1995. ISBN 80-85920-01-8.
- [4] FRISCHHERZ, Adolf et al. *Technologie zpracování kovů 1: Základní poznatky*. 5. SNTL Praha. ISBN 80-902655-5-3.
- [5] TIG/WIG svařování. *FRONIUS Česká republika* [online]. FRONIUS International, ©2006-2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-48E32D67-70A72504/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/29\\_3920.htm#.VxdljHrIDGj](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-48E32D67-70A72504/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3920.htm#.VxdljHrIDGj)
- [6] 163392-9390662.jpg In: Welding Process Industrial Co., Ltd (WPI Taiwan): AC/MFDC. *Direct Industry: The online industrial exhibition* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/welding-process-industrial-co-ltd-wpi-taiwan/product-163392-1705396.html>
- [7] Přehled svařování. *České vysoké učení technické v Praze* [online]. 2011 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT\\_01\\_Prehled\\_svarovani\\_T08.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf)
- [8] Resistance Welding Process Information Center. *Welding Technology Corp.* [online]. 2010 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://www.weldtechcorp.com/welding\\_concepts/resistancewelding.html](http://www.weldtechcorp.com/welding_concepts/resistancewelding.html)
- [9] Repase-sbodvani.jpg In: *Repase baterií: ELTECHNIK Chrudim* [online]. Eltechnik, ©2011-2014 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.repase-baterii.cz/jak-probiha-repase>
- [10] DORN, Lutz. *Resistance welding: TALAT Lecture 4500* [online]. Berlín: Technische Universität, Berlin, 2002 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://core.materials.ac.uk/repository/ea/talat/4500.pdf>
- [11] RAUTARUUKKI CORPORATION. *Resistance welding manual* [online]. Helsinky: Rautaruukki Corporation, 2009 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www1.ruukki.com/~media/Files/Steel-products/Cold-rolled-metal-colour-coated-instructions/Ruukki-Resistance-welding-manual.pdf>
- [12] STRATEGIC SIMULATION & ANALYSIS. Numerical Simulation of Nugget Formation in Spot Welding SIMULIA Abaqus. In: *Youtube* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=eV7lfZMKpT8>
- [13] LAPŠANSKÁ, Hana. *Přehled metod svařování* [online]. Olomouc, 2011 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/Lapsanska\\_prehled\\_metod\\_svarovani.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/Lapsanska_prehled_metod_svarovani.pdf)

- [14] 80117-3539503.jpg In: NACHI-FUJIKOSHI CORP.: SRA166/210-01A. *Direct Industry: The online industrial exhibition* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/nachi-fujikoshi-corp/product-80117-685395.html>